

AJ

10/582, 840



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 07 247 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 198 07 247.3  
㉔ Anmeldetag: 20. 2. 98  
㉕ Offenlegungstag: 9. 9. 99

㉖ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 01 D 9/04**  
F 01 D 11/02  
F 01 D 11/24  
F 02 C 7/28  
F 02 C 7/12

DE 198 07 247 A 1

㉗ Anmelder:  
MTU Motoren- und Turbinen-Union München  
GmbH, 80995 München, DE

㉘ Erfinder:  
Klingels, Hermann, 85386 Eching, DE

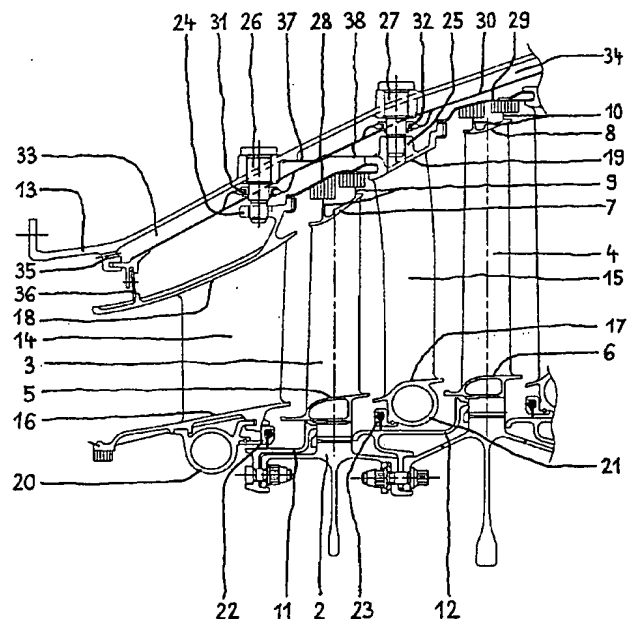
㉙ Entgegenhaltungen:  
DE 33 36 420 A1  
US 35 88 267  
US 35 42 483  
US 29 68 467

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉚ Strömungsmaschine mit Rotor und Stator

㉛ Strömungsmaschine mit Rotor und Stator in zumindest abschnittsweise axialer Bauart, mit Laufschaufeln am Rotor und gehäusefesten Leitschaufeln, wobei letztere als mindestens ein Leitschaufelkranz mit einem inneren und einem äußeren Deckband angeordnet sind.  
Der mindestens eine Leitschaufelkranz ist als selbsttragendes Bauteil mit einer geschlossenen, das Bauteil gegen stülpende Axialverformung versteifenden Verstärkung am inneren Deckband ausgeführt, weist ein segmentiertes äußeres Deckband auf und ist über mindestens drei Deckbandsegmente mittels jeweils radiale Bewegungen zulassender Lagereinheiten im Gehäuse positioniert.



DE 198 07 247 A 1

Die Erfindung betrifft eine Strömungsmaschine mit Rotor und Stator in strömungstechnisch ein- oder mehrstufiger Ausführung, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Eine derartige Strömungsmaschine ist beispielsweise aus der DE-PS 27 45 130 bekannt, wobei diese Schrift sich speziell auf Axialturbinen mit Labyrinthdichtungen bezieht. Der Strömungskanal des Arbeitsmediums führt abwechselnd durch Leit- und Laufschaukelkränze wobei die statischen Bauteile radial von außen, die rotierenden radial von innen in diesen hineinragen. Wie Fig. 1 dieser Schrift deutlich zeigt, gibt es sowohl radial innen angeordnete Dichtungen zwischen dem Rotor und den Leitschaukelkränzen ("Inner Airseal") als auch radial außen angeordnete Dichtungen zwischen den Laufschaukeln und dem Stator ("Outer Airseal").

Bei der Axialturbine gemäß der DE-PS sind die Dichtfins (Pos. 8) der "Inner Airseal" am Rotor (Pos. 4) befestigt, so daß deren Maße bzw. Maßabweichungen von den Verhältnissen am Rotor (Temperatur, Drehzahl) abhängen. Der zugehörige Dichtungsbelag (Pos. 7) ist demgegenüber am inneren Deckband (Pos. 20) der Leitschaukelsegmente (Pos. 1, 5) befestigt. Die Leitschaukelsegmente sind am Gehäuse (Pos. 13, 14) gelagert, so daß die Maße bzw. Maßabweichungen des Dichtungsbelages letztlich von den Verhältnissen außen am Gehäuse wesentlich mitbestimmt werden. Die Verhältnisse am Rotor einerseits und am Gehäuse andererseits ändern sich oft weder konform noch zeitgleich, so daß sich spaltverändernde Relativbewegungen zwischen den Dichtungselementen (Pos. 7, 8) ergeben. Das Gleiche gilt für die "Outer Airseal" (Pos. 11, 12). Die spezielle Art der Leitschaukelbefestigung am Gehäuse wird so bzw. in vergleichbarer Ausführung bei größeren Triebwerken häufig verwendet. Jedes Segment eines Leitschaukelkranzes ist als mechanische Einheit an – im Längsschnitt – hakenförmigen Gehäuseelementen (Pos. 14) gelagert, welche in Umfangsrichtung ringförmig geschlossen sind. Am stromaufwärtigen Ende des äußeren Deckbandes weist jedes Leitschaukelsegment einen Randwulst mit Nut auf, welcher das hakenförmige Gehäuseelement (Pos. 14, 22) klauenartig umgreift (siehe Fig. 3). Am stromabwärtigen Ende des äußeren Deckbandes jedes Leitschaukelsegmentes ist eine – im Längsschnitt – abgewinkelte Anlagefläche vorhanden, welche im Betrieb infolge eines strömungsinduzierten Kippmomentes um das stromaufwärtige "Klauenlager" gegen das korrespondierende hakenförmige Gehäuseelement gedrückt wird (siehe Fig. 1). Durch die hakenförmigen Gehäuseelemente – auch als "Hakenringe" bezeichnbar – fließen Wärmeströme hoher Dichte zum kälteren Gehäuse, wobei die "Hakenringe" speziell im Bereich der "Klauenlager" durch Kriechen zunehmend plastisch verformt werden können. Abhilfe schafft hier meist nur eine permanente Kühlung der "Hakenringe". Falls vorhanden, kann hierzu ein aktives Spaltkontrollsystem ("Aktive Clearance Control" = ACC) mit herangezogen werden, welches dann allerdings permanent in Betrieb sein muß.

Die DE-PS 35 40 943 beschreibt ein solches Spaltkontrollsystem speziell für ein Zweitromtriebwerk. Bei diesem erstreckt sich der Sekundärluftkanal zumindest bis zum Ende des Turbinenbereiches und weist Öffnungen (Pos. 11) in seiner Innenwand auf, durch die Sekundärluft von außen gezielt auf Bereiche des Turbinengehäuses geblasen werden kann. Bei diesem vereinfachten ACC-System besteht ggf. das Problem, daß der geringe Überdruck des Sekundärluftstromes nicht ausreicht, um in örtlich eng begrenzten Ge-

häusezonen durch entsprechend kleine Strömungsquerschnitte Kühlluftströme mit ausreichendem Massendurchsatz zu erzeugen. Üblicherweise wird bei einem ACC-Verdichterluft aus dem Booster bzw. Niederdruckverdichter als Kühlmittel abgezweigt, in separaten Kanälen geführt und über Ventile gezielt ausgeblasen. Bei kleineren Gasturbinenriebwerken ist es bekannt, Leitschaukelkränze als selbsttragende, integrale Bauelemente mit geschlossenen Deckbändern auszuführen und im Gehäuse zu zentrieren.

Aus fertigungstechnischen sowie festigkeitstechnischen Gründen (Thermospannungen) ist diese "monolithische" Lösung auf Schaukelkränze mit relativ kleinen Abmessungen beschränkt.

Angesichts dieser bekannten Lösungen und ihrer Nachteile besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Strömungsmaschine mit Rotor und Stator sowie mit mindestens einem, je ein äußeres und ein inneres Deckband aufweisenden Leitschaukelkranz zu schaffen, welche sich in allen Betriebszuständen durch besonders niedrige, wenig variierende und rechnerisch gut erfaßbare Leckageverluste, somit einen hohen Wirkungsgrad, sowie durch eine relativ einfache, kosten- und gewichtsgünstige, langlebige und wartungsfreundliche Konstruktion ohne die Erfordernis eines aktiven Spaltkontrollsystems (ACC's) auszeichnet und auch mit großen Leistungen und Abmessungen ausführbar sowie funktionstüchtig ist.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst, in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen in dessen Oberbegriff.

Die Erfindung liegt somit in der speziellen Ausführung und Lagerung/Zentrierung mindestens eines Leitschaukelkranzes der Strömungsmaschine. Der – mindestens eine – Leitschaukelkranz ist als selbsttragendes Bauteil mit einer Verstärkung am inneren Deckband ausgeführt, welche ihn gegen stülpende Axialverformung versteift. Ausgehend von einer etwa ebenen, radialen Ausrichtung der Schaukelachsen im unbelasteten Zustand werden diese durch die statische Druckdifferenz vor!hinter dem Leitschaukelkranz bei Auslenkung "Null" am Gehäuse zur Kranzmitte hin zunehmend axial ausgelenkt und dabei u. U. auch gekrümmt. Somit ist der Leitschaukelkranz mechanisch mit einer Tellerfeder vergleichbar, deren inneren Rand (Lochrand) das innere Deckband, und deren äußeren Rand das äußere Deckband bildet. Das innere Deckband wird dabei sowohl axial verschoben als auch durch die schaufelinduzierten Momente in sich verdreht/verstülpt. Das heißt, die in Radial-Axialschnitten sichtbaren Materialquerschnitte des Deckbandes werden um gedachte, zur Schnittfläche jeweils senkrechte Achsen je nach Steifigkeit/Verstärkung mehr oder weniger verdreht.

Die erfindungsgemäße Verstärkung des inneren Deckbandes gegen besagte Verstülpung reduziert auch die axiale Auslenkung der Schaukelachsen und somit die gesamte Verformung des Leitschaukelkranzes unter Last. Dies verbessert die Maßhaltigkeit der statischen Komponente der "Inner Airseal".

Durch die geringe Berührungsfläche zwischen äußerem Deckband und Gehäuse wird der Wärmetransport vom Gas-kanal in das Gehäuse behindert, wodurch sich geringe Temperaturgradienten über das äußere Deckband einstellen. Die geringen Temperaturgradienten in Kombination mit der Segmentierung des äußeren Deckbandes verringern die Thermospannungen im Leitkranz.

Die mindestens dreifache, jeweils radiale Bewegungen zulassende Lagerung ("Speichenzentrierung") der Deckbandsegmente behindert die thermische Dehnung/Kontraktion praktisch nicht und trägt somit auch zu einer Spannungsminimierung bei. Außerdem wird eine exakte Zentrierung im Gehäuse erreicht.

Die erfindungsgemäße Leitschaufelkranzkonstruktion und -lagerung hat zur Folge, daß das Verformungsverhalten des Kranzes überwiegend durch die Verhältnisse/Temperaturen am inneren Deckband, d. h. im rotornahen und auch für das Rotorverhalten maßgeblichen Bereich, bestimmt wird. Da die statischen Komponenten der Inner"- und Outer Airseal" von den Leitschaufelkränzen getragen werden und sich zu diesen konform verhalten, wird eine bestmögliche Angleichung der Verformungen der statischen und rotatorischen Dichtungskomponenten hinsichtlich Zeitverlauf, Größe und Richtung bei wechselnden Betriebsverhältnissen (instationärer Betrieb) erreicht. Somit kann die Maschine durchgehend mit etwa gleichbleibenden, minimalen Spalten bzw. Leckageverlusten und damit hohem Wirkungsgrad gefahren werden, wobei speziell im Leitschaufelbereich keine vorzeitige Bauteilermüdung zu befürchten ist. Die Anwendung von Bürstendichtungen wird durch das konforme Verhalten der Dichtungsträger (geringe Spaltänderung, geringe Exzentrizität etc.) begünstigt bzw. sogar erst ermöglicht.

In den Unteransprüchen sind bevorzugte Ausgestaltungen der Strömungsmaschine nach dem Hauptanspruch gekennzeichnet.

Die Erfindung wird anschließend anhand der Figur noch näher erläutert. Diese zeigt einen Teillängsschnitt durch die Niederdruckturbine eines Turboluftstrahltriebwerkes.

Die vorliegende Erfindung ist generell für Strömungsmaschinen mit Rotor und Stator, d. h. für Verdichter und Turbinen, geeignet, welche zumindest abschnittsweise in Axialbauart, d. h. mit vorwiegend axialer Durchströmung, ausgeführt sind. Thermodynamisch und abmessungsbedingt dürften Niederdruckturbinen mittlerer bis großer Gasturbinen-triebwerke bevorzugte Anwendungsfälle darstellen, weshalb die Figur ein Beispiel aus diesem Bereich zeigt.

Von der Niederdruckturbine 1 sind die ersten beiden Stufen und hiervon wiederum die relevanten Elemente der oberen Hälfte dargestellt, wobei die Turbinen-/Triebwerksachse horizontal unterhalb der Darstellung verlaufen würde. Die Strömungsrichtung des Arbeitsgases verläuft von links nach rechts, d. h. zunächst durch den Leitschaufelkranz 14, dann durch den Bereich der Laufschaufeln 3, anschließend durch den Leitschaufelkranz 15 und durch den Bereich der Laufschaufeln 4, wobei noch weitere Stufen (Leit-, Lauf-) folgen können. Die äußere Triebwerkshülle bildet das Gehäuse 13, in welchem die Leitschaufelkränze 14, 15 radial zentriert und axial fixiert gelagert sind. Sowohl die Laufschaufeln 3, 4 als auch die Leitschaufelkränze 14, 15 sind mit inneren und äußeren Deckbändern 5 bis 8 und 16 bis 19 ausgeführt, wobei die inneren und äußeren Laufschaufeldeckbänder jeweils zwischen den Schaufeln Trennfugen aufweisen, u. a. damit beschädigte Schaufeln einzeln auswechselbar sind.

Die Leitschaufelkränze 14, 15 sind als selbsttragende Bauelemente ausgeführt, wobei ihre mechanische Stabilität überwiegend im Bereich der inneren Deckbänder 16, 17 erzielt wird. Dort sind in Umfangsrichtung geschlossene, d. h. "umlaufende", Verstärkungen 20, 21 angeordnet, welche auch das thermische Verhalten (Maß- und Formänderungen) der Leitschaufelkränze 14, 15 entscheidend beeinflussen. Die Gaskräfte im Betrieb bewirken u. a. eine stülpende Axialverformung der Leitschaufelkränze, d. h. eine vom äußeren zum inneren Deckband zunehmende axiale Auslenkung mit einer gewissen Verdrehung der Deckbänder in sich. Diese "tellerfederartige" Verformung läßt sich über die Verstärkungen an den inneren Deckbändern erheblich reduzieren. Als Verstärkungen sind beispielsweise die dargestellten, torusartigen Hohlkörper, axial beabstandete Ringe, Kombinationen von Hohl- und Vollprofilen usw. geeignet, wobei auch die Platzverhältnisse eine Rolle spielen. Die Verstärkungen sollten jedenfalls – im Axial-/Radialschnitt – ein

möglichst großes Flächenträgheitsmoment um eine radiale Achse z. B. durch den Flächenschwerpunkt aufweisen, was durch ausreichende, axial beabstandete Flächenanteile erreichbar ist. Die Flächenanteile des Deckbandes sind hier mit zu berücksichtigen. Vorteilhaft ist ein Verstärkungswerkstoff mit hohem E-Modul. Insgesamt sollte bei möglichst kleiner Massenerhöhung ein Optimum an Steifigkeitserhöhung erzielt werden. Die Ermittlung der Spannungen und Verformungen beim "Stülpen" ist über einschlägige Berechnungsverfahren möglich.

Die Verstärkung 20 ist mit dem Deckband 16 formschlüssig verbunden, wobei der Leitschaufelkranz 14 aus mehreren Segmenten bestehen kann, welche über die Verstärkung zusammengehalten werden. Die Verstärkung 21 ist hingegen in das Deckband 17 integriert, d. h. stoffschlüssig mit diesem zusammengefügt. Auch hier können Leitschaufelsegmente die Ausgangsteile sein, welche durch Schweißen oder Löten im Bereich des inneren Deckbandes/der Verstärkung verbunden werden.

Die äußeren Deckbänder 18, 19 sollen jedoch im Einbaustand noch segmentiert sein, d. h. mehrere Trennfugen am Umfang aufweisen, um Thermospannungen zu minimieren.

Die Zentrierung und Fixierung der Leitschaufelkränze 14, 15 im Gehäuse 13 erfolgt über jeweils mindestens drei Lagereinheiten mit je einem gehäusefesten Lagerzapfen 26, 27 und je einer deckbandfesten Lagerbuchse 24, 25. Die Kontaktflächen der Zapfen sind ballig, die der Buchsen zylindrisch ausgeführt, so daß über eine freie radiale Beweglichkeit hinaus auch kleine allseitige Schwenkbewegungen nach Art eines Kugelgelenkes möglich sind. All dies minimiert Zwangskräfte und somit Bauteilspannungen, was wiederum die Lebensdauer erhöht.

Die "Inner Airseal" ist hier – zumindest überwiegend – mit Bürstendichtungen ausgeführt, wobei im Bereich der Leitschaufelkranzverstärkungen befestigte Bürsten 22, 23 gegen mit dem Rotor 2 verbundene Ringe 11, 12 laufen, welche axiale Anschläge für die Laufschaufeln 3, 4 bilden.

Die "Outer Airseal" ist hier mit Labyrinthdichtungen verwirklicht, wobei ringschneidenartige Dichtspitzen 9, 10 gegen Wabenstrukturen laufen, welche auf Wabenträger 28, 29 aufgebracht sind. Die Wabenträger 28, 29 sind ihrerseits an den Leitschaufelkränzen 14, 15 gelagert und dadurch im Verformungsverhalten an diese angeglichen.

Obwohl nicht generell erforderlich, ist hier eine Luftkühlung für die Lagereinheiten der Leitschaufelkränze vorgesehen, welche konstruktiv jedoch bei weitem nicht so aufwendig ist, wie ein ACC-System. Zu diesem Zweck ist auf der Innenseite des Gehäuses 13 in radialem Abstand eine Luftleitschale 30 angeordnet, so daß zwischen dieser und dem Gehäuse Kühlluft in Triebwerksängsrichtung strömen kann. Der Zutritt der in der Regel vom Verdichter abgezweigten Kühlluft erfolgt über Bohrungen 35 in eine erste Kammer 33. Im Bereich der Lagerzapfen 26 und 27 besitzt die Luftleitschale 30 bewußt gasdurchlässige Öffnungen 31, 32, so daß ein Teil der Kühlluft längs der Lagerzapfen 26, 27 in den Bereich der äußeren Deckbänder 18, 19 der Leitschaufelkränze 14, 15 strömen kann, ein entsprechendes Druckgefälle (Kühlluftüberdruck) vorausgesetzt. Dadurch werden die Lagerstellen gekühlt und Wärmeströme von den Leitschaufelkränzen zum Gehäuse reduziert. Das Wandelement 37 weist – nicht dargestellte – Restriktoren auf oder bildet selbst mit entsprechenden Drosselspalten einen Restriktor für die Kühlluft, so daß diese in die nachfolgende Kammer 34 mit reduziertem Druck eintritt. Es reicht aus, wenn die Kühlluft jeweils nur einen mäßigen Überdruck gegenüber dem Arbeitsgas im angrenzenden Strömungskanal aufweist. Da der Druck des Arbeitsgases axial abnimmt, ist es sinnvoll, auch den Kühlluftdruck zumindest in wenigen

Stufen zu reduzieren, was hier durch die genannte Kammerbauweise mit Restriktoren erreicht wird. Hohe Überdrücke der Kühlluft würden auch eine hohe Druckfestigkeit der Luftleitschale 30 erfordern, d. h. größere Wanddicken und mehr Gewicht.

Zwischen dem Strömungskanal des Arbeitsgases und dem Kühlluftkanal sind weitere Wandelemente 36, 38 angeordnet, welche Arbeitsgasnebenströme, d. h. -verluste, durch diese Passagen verhindern sollen. Aus Kühlungsgründen sind auch diese Wandelemente 36, 38 bewußt etwas gasdurchlässig ausgeführt bzw. befestigt.

#### Bezugszeichenliste

1 Niederdruckturbine	15
2 Rotor	
3 Laufschaufel	
4 Laufschaufel	
5 Deckband, inneres	
6 Deckband, inneres	20
7 Deckband, äußeres	
8 Deckband, äußeres	
9 Dichtspitzen	
10 Dichtspitzen	
11 Ring	25
12 Ring	
13 Gehäuse	
14 Leitschaufelkranz	
15 Leitschaufelkranz	
16 Deckband, inneres	30
17 Deckband, inneres	
18 Deckband, äußeres	
19 Deckband, äußeres	
20 Verstärkung	
21 Verstärkung	35
22 Bürste	
23 Bürste	
24 Lagerbuchse	
25 Lagerbuchse	
26 Lagerzapfen	40
27 Lagerzapfen	
28 Wabenträger	
29 Wabenträger	
30 Luftleitschale	
31 Öffnung	45
32 Öffnung	
33 Kammer	
34 Kammer	
35 Bohrung	
36 Wandelement	50
37 Wandelement	
38 Wandelement	

#### Patentansprüche

1. Strömungsmaschine mit Rotor und Stator in strömungstechnisch zumindest abschnittsweise axialer Bauart, deren Rotor Laufschaufeln, und deren Stator ein Gehäuse mit Leitschaufeln aufweist, wobei die Leitschaufeln als mindestens ein Leitschaufelkranz mit einem radial inneren und einem radial äußeren Deckband angeordnet sind, insbesondere axiale Niederdruckturbine, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens ein Leitschaufelkranz (14, 15) als selbsttragendes Bauteil mit einer in Umfangsrichtung geschlossenen, zumindest weitgehend rotationssymmetrischen, das Bauteil gegen stülpende Axialverformung versteifenden Verstärkung (20, 21) am inneren Deckband (16,

17) ausgeführt ist,

ein segmentiertes äußeres Deckband (18, 19) mit mehreren über seinen Umfang verteilten Trennfugen aufweist und

über mindestens drei Segmente des äußeren Deckbandes (18, 19) mittels jeweils einer radiale Bewegungen zulassenden Lagereinheit (24, 25, 26, 27), d. h. insgesamt über eine sog. Speichenzentrierung, im Gehäuse (13) positioniert ist.

2. Strömungsmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkung (20, 21) des mindestens einen Leitschaufelkranzes (14, 15) als torusförmiger Hohlkörper oder in Form mindestens zweier axial beabstandeter Ringe ausgeführt und stoffschlüssig in das innere Deckband (17) integriert oder formschlüssig mit diesem (16) verbunden ist.

3. Strömungsmaschine nach Anspruch 2 mit formschlüssiger Verbindung zwischen der Verstärkung und dem inneren Deckband des mindestens einen Leitschaufelkranzes, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Leitschaufelkranz (14) aus mehreren Leitschaufelsegmenten besteht, welche mittels der Verstärkung (20) zu einem selbsttragenden Bauteil zusammengefügt sind.

4. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkung (20, 21) des mindestens einen Leitschaufelkranzes (14, 15) das statische Element einer Wellendichtung trägt, insbesondere die Bürste (22, 23) einer Bürstendichtung oder den Einlaufbelag bzw. die Wabenstruktur einer Labyrinthdichtung.

5. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß jede Lagereinheit des mindestens einen Leitschaufelkranzes (14, 15) aus einem gehäusefesten Lagerzapfen (26, 27) mit balliger Kontaktfläche und einer deckbandfesten Lagerbuchse (24, 25) mit zylindrischer Kontaktfläche besteht.

6. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Gehäuse (13) und dem äußeren Deckband (18, 19) des mindestens einen Leitschaufelkranzes (14, 15) eine Luftleitschale (30) angeordnet ist, welche einen Kühlluftstrom längs der Gehäuseinnenseite führt und mit Öffnungen (31, 32) für die gehäusefesten Lagerelemente (26, 27) des mindestens einen Leitschaufelkranzes (14, 15) versehen ist, wobei die Öffnungen (31, 32) einen Teil des Kühlluftstromes zum Deckband (18, 19) hin durchtreten lassen.

7. Strömungsmaschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlluftkanal zwischen Gehäuse (13) und Luftleitschale (30) in mehrere, nacheinander durchströmte Kammern (33, 34) mit von Kammer zu Kammer abnehmendem Innendruck aufgeteilt ist, wobei jede Kammer (33, 34) für einen Betriebsdruck ausgelegt ist, welcher zumindest geringfügig höher ist als der Druck im jeweils benachbarten Strömungskanalbereich des Arbeitsmediums.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

1

